

Preliminarna procjena sadržaja glavnih i elemenata u tragovima u periodu kreda – paleogen, formacije bazena Sokoto, sjeverozapadne Nigerije

C. Bassey i O. Eminue

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Iz pet poprečnih prijelaza preko uzvisina i udubljenja prikupljeno je 21 uzoraka šejla, vapnenca i gipsa iz paleocenske grupe Sokoto i 19 uzoraka pješčenjaka, šejla, lignita i gipsa mastrihtske starosti, grupe Rima bazena Sokoto. Uzorci su analizirani s ciljem procjene osnovnih elemenata i elemenata u tragovima korištenjem XRF (X-ray Fluorescence analysis/ rendgenska fluorescentna analiza) i AAS (Atomic absorption spectroscopy/Atomska apsorpcijska spektroskopija) analitičkih metoda. Omjer $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ na formaciji Taloka u grupi Rima je visok (3,48 – 21,60 wt%) (wt – težinski%) i ukazuje na viši sadržaj silta, dok je u Dukamaje formaciji u istoj grupi nizak (4,60 – 5,9%) i ukazuje na niži sadržaj silta. Visoka koncentracija Fe_2O_3 Taloka formacije povezana s pojavom lignita ukazuje na taloženje kod smanjujućeg okoliša. Dukamaje formacija je uglavnom vapneni šejl s proslojcima gipsa/slojevima što ukazuje na marinski okoliš. Osnovni elementi paleocenskih sedimenata ukazuju na niski sadržaj silta i tendenciju ka marinskim uvjetima što se vidi u niskom omjeru $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (1,37 – 5,80 wt%). Viši sadržaj Fe_2O_3 (prosjek > 4 wt%) na smanjujući okoliš taloženja. Korištenje dijagrama diskriminacijske funkcije u analizi podrijetla i karakteristika sedimenata za osnovne elemente pokazuje da uzorci grupe Sokoto imaju srednje do mafitno podrijetlo dok su sedimentne grupe Rima kvarcno sedimentnog do mafitno eruptivnog podrijetla.

Ključne riječi: Sokoto bazen, elementna analiza, podrijetlo, kreda-paleogen

1. UVOD

Mastrihtska, grupa Rima i paleocenska grupa Sokoto, pojavljuju se na površini u bazenu Sokoto u sjeverozapadnoj Nigeriji i čine jugoistočni sektor bazena Lullemmeden. Potonji je jedan od mlađih mezozojsko kenozojskih unutarnjih kratonskih sedimentnih bazena Zapadne Afrike. Grupa Rima istaložena je mastrihtskom marinskom transgresijom i prekrivena je sedimentima grupe Sokoto.

Nekoliko autora, uključujući navedene^{2,4,7,9,13,20} proučavalo je kredne i paleogene sedimente bazena Sokoto. Opaženo je da se sedimenti blago spuštaju i postepeno se podebljavaju prema sjeverozapadu s najvećom debljinom od preko 1 000 metara, u blizini granice s Republikom Niger. Ti autori su predložili nekoliko geoloških slijeda slojeva. Prethodni rad obuhvaća uglavnom stratigrafiju, sedimentologiju, paleontologiju i geokemiju bazena. Literatural (Ref¹) koristi paleontološko stanovište pri određivanju taložnog okoliša. Glavni i elementi u tragovima su od velike važnosti u utvrđivanju podrijetla i taložnog okoliša sedimenata unutar bazena. To se može koristiti u vezi s drugim rezultatima poput TOC-a (Total organic carbon/ukupni organski ugljik), procjene parametara stijene i petrografske studije za određivanje potencijala bazena kao matične stijene nafte. Glavni i elementi u tragovima korišteni su za utvrđivanje podrijetla i taložnih okoliša u drugim bazenima Nigerije, npr. Beninskog troga.^{1,5}

Cilj ove studije je ispitati podrijetlo i okoliš taloženja od gornje krede do paleocena sedimenata bazena Sokoto koristeći pri tome glavne i elemente u tragovima. Ovo uključuje varijacije elemenata, zrelost sedimenata, primjenu diskriminacijske funkcije za određivanje podrijetla sedimenata.

1.1. Položajna karta

Proučavano područje se nalazi između sjeverne geografske širine 10°55' i 13°52' i istočne geografske duljine između 5,0° i 6,0° u sjeverozapadnom dijelu Nigerije (Slika 1). Proučavano područje prekriva oko 59 570 km² i lako je dostupno kroz mrežu prometnica. Geomorfološki to je blago područje s povremeno zaravnjenim brežuljcima prekrivenim otpornim lateritima. Visina općenito opada prema sjeverozapadu oko granice Nigerija – Republika Niger s prosječnom visinom od oko 215 metara.

1.2. Geološka građa

Bazen Lullemmeden je u cijelosti kratonski bazen stvoren tektonsko epirogenetskim pokretanjem ili izduživanjem i riftingom zemljine kore tijekom paleozoika.² Ti su pokreti postali evidentni na početku paleozoika i trajali su do gornje krede kada je došlo do nastanka doline Goa.⁸ Ti pokreti su izazvali JZ progradaciju sedimenata istaloženih unutar bazena. Oni postupno postaju mlađi kada se krene prema JZ (Nigerija) od sjevera, gdje su određeni kao bazen Sokoto (slika1).

U sjeverozapadnoj Nigeriji su sedimenti bazena Lullemmeden taloženi u tri glavne faze koje uključuju kontinentalne faze mezozoika i kenozoika, s jednom međufazom iz mastrihta do paleocena. Sedimentne stijene bazena Sokoto razvrstane su u četiri glavne skupine (tablica 1). Predmastrihtski (donja kreda) sedimenti su riječnog i jezerskog podrijetla. Oni pripadaju Gundumi i Illo formacijama koje se protežu na sjever u Republiku Niger. Druga faza u povijesti taloženja sjeverozapadnog bazena Nigerije započela je tijekom mastrihta, kada je grupa Rima istaložena diskordantno na sedimente donje krede kao Taloka, Dukamaje i Wurno formacije. Taloka formacija je određena kao laki pješčenjak, mulnjak i lignit,⁹ a sastoji se od slojevitog sivog do tamno smeđeg mulnjaka i lagano obojenog, srednje do fino zrnatog pijeska s malo debelih proslojaka ugljevitog šejla ili lignita.¹¹ Dukamaja formacija se uglavnom sastoji od šejla s nešto vapnenca i mulnjaka. Šejl sadrži brojne fragmente kralježnjaka i kostiju udova. Fosiliferni slojevi leže u bazi. U lit.^{10,13} je navedeno da je Dukamaje formacija lokalno gipsonosna. Wurno formacija se sastoji od tankog, drobljivog, fino zrnatog pješčenjaka proslojenog s mekim mulnjakom i siltitom.¹¹ Vrlo je slična Taloka formaciji.

Grupa Rima je prekrivena grupom Sokoto koja je gornje paleocenske starosti.¹⁶ Grupa Sokoto sastoji se od tri formacije (tablica 1) i to: Dange formacija (najstarija), Kalambina formacija i Gamba formacija (najmlađa). Dange formacija čini bazu sedimenata grupe Sokoto. Sastoji od lagano stvrdnutog plavičasto sivog šejla interstratificiranog sa slojevima žućkasto smeđeg vapnenca. Kontakt između Wurno formacije (mastriht) i Dange formacije (paleocen) može se vidjeti u selu Dange a obilježen je dobro izloženom erozijskom ravnicom koja označuje vrh Wurno formacije. Kontakt obilježava granicu kreda – paleogen.

Kalambina formacija (Tablica 1) prekriva Dange formaciju. Sastoji se od bijelog, marinskog glinovitog vapnenca i šejla. Formacija je bogata fosilima kralježnjaka.^{11,21,25} Naziv Gamba formacija predložio je Kogbe, C. A..¹² Formacija se sastoji od sivog laminiranog šejla koji prekriva vapnenačku Kalambina formaciju. Šejlovi se pojavljuju naborani uslijed premještanja zbog otapanja ispod zaliježućeg vapnenca i klizanja prekrivajućih slojeva.

Sedimenti gornjeg paleocena Sokoto grupe su neskladno prekriveni debelim serijama sedimenata koji se sastoje pretežno od crvenih i pjegavih masivnih glina s proslojcima pješčenjaka. Ti sedimenti pripadaju formaciji Gwandu s njezinim tipskim presjekom i tipskim područjem (lat. locus typicus) u Gwandu emiratu Nigerije.¹¹ Kogbe, C. A i Sowunmi, B.¹⁷ su na temelju palinoloških parametara odredili moguću eocensku starost Gwandu formacije.

2. METODOLOGIJA

Metodologija ove studije uključuje dvije faze. To su terenska studija prikupljanja podataka i laboratorijske analize.

2.1. Terenska studija i prikupljanje podataka

Izdanci stijena na tom području proučavani duž brda i jama a prikupljeni su reprezentativni uzorci za daljnje laboratorijske analize. Za grupu Sokoto prikupljen je 21 uzorak iz izdanaka u dva sela: Dange i Kalambaina. Za grupu Rima 19 uzoraka predstavlja dvije glavne formacije nazvane formacija Taloka (14 uzoraka) i formacija Dukamaje (5 uzoraka). Uzorci su prikupljeni s tri profila. Za terensko uzorkovanje korištena je spot metoda uzorkovanja. Napravljeni su detaljni zbirni litološki opisi uzoraka.

2.2. Laboratorijske analize

Laboratorijske analize uključuju određivanje glavnih elemenata i elemenata u tragovima korištenjem metoda rendgenske fluorescencije i atomske apsorpcione spektrometrije. Metoda rendgenske fluorescencije korištena je za određivanje koncentracije glavnog elementa kako bi se donio zaključak o okolišu taloženja. Uzorci su drobljeni 60 sekundi korištenjem Herzog-Gyro mlinu (Simatic C7-621). Pelete su pripremljene iz drobljenih uzoraka, prva brušenjem 20 g, s 0,4 g stearinske kiseline u vremenu od 60 sek. Stearinska kiselina je organsko vezivo koje povećava mehaničku stabilnost uzorka. Paleta debela 2 mm umetnuta je radi analize u svaki nosač uzorka rendgenskog uređaja (Phillips PW-1660). Ova metoda radi na principu atomske fizike i kvantne kemije. Uzorci su izloženi cjelokupnom spektru fotona koji se sastoje od primarnog zračenja emitiranog iz standardne rendgenske cijevi koja osrači svaki uzorak, uzrokujući

Tablica 1. Pregled geološkog slijeda u bazenu Sokoto¹⁵

STAROST	FORMACIJA	STRATIGRAFSKA JEDINICA	SEDIMENTACIJSKA SREDINA
Eocen do paleocena	Gwandu formacija	Stratigrafska jedinica Sokoto	Kontinentalna
Gornji paleocen	Gamba formacija Kalambaina formacija	Stratigrafska jedinica Sokoto	Marinska
Mastriht -----	Wurno formacija Dukamaje formacija Taloka formacija Diskordancija	Stratigrafska jedinica Rima -----	Bočata voda s kratkim periodama marinskog režima
Uglavnom donja kreda ili stariji sedimenti -----	Illo i Gundumi formacije Glavna diskordanca Bazalni kompleks	-----	Kontinentalna -----
Pretkambrij			

tako da svaki element u uređaju emitira sekundarnu fluorescenciju s njihovim karakteristikama linijskog spektra rendgenskih zraka. Spektralna linija energije ili valna duljina emitiranih linija korištena je u kvantitativnoj analizi elemenata u uzorku. Intenziteti emitiranih linija povezane su s njihovim koncentracijama elemenata.

2.3. Atomska apsorpciona spektrometrija (AAS)

Ova metoda je opisana u detalje.²³ Korištena je za određivanje lakih elemenata čiji su atomski brojevi preniski da bi se mjerili pomoću rendgenske fluorescencije (XRF). Atomska apsorpciona spektrometrija se temelji na opažanju da atomi elementa mogu apsorbirati elektromagnetsko zračenje. To se događa kada je element atomiziran i valna duljina apsorbiranog svjetla je specifična za svaki element. Uzorci prikupljene stijene su temeljito osušeni zrakom. Tipičan predstavnik svakog uzorka stijene je zdrobljen u fini prah otvora mreže oko 100, korištenjem mužara i malja. Mužar i malj su oprani i osušeni nakon svakog drobljenja kako bi se izbjeglo onečišćenje. Zdrobljeni uzorci su pažljivo pohranjeni u malu označenu epruvetu kako bi se izbjegla promašena prezentacija.

Za određivanje TiO_2 i elemenata u tragovima korištena je metoda mokrog razaranja u dušičnoj kiselini. Kod mokre metode razaranja, 0,5 g uzorka stijene je izvagano i stavljeno u suhu epruvetu za razaranje, dodane su 3 do 4 kapi destilirane vode kako bi se uzorak navlažio. Nakon toga je dodano 5 ml kloridne kiseline (HCL) a onda se otopina promiješa. Pripremljeno je, dodano i promiješano 5 ml dušične/perklorne kiseline u omjeru 3:2. Epruveta je preko noći ostavljena u stanju mirovanja bez zagrijavanja.

Uzorci su razarani na temperaturi od 120 °C u kupelji tople vode unutar digestora. Otopina se jako zagrijava sve dok dim ne prestaje izlaziti iz boce. Uzorci su izluženi s 5 ml 6M kloridne kiseline (HCL) u stupnjevanom ispitivanju i s destiliranom vodom dopunjeni do 20 ml. Sadržaj je energično potresen kako bi se izbjeglo zgrušavanje i dobivena otopina se navodi kao bazna otopina. Sve epruvete su ispravno označene. Otopine su odmah korištene za određivanje TiO_2 i svih elemenata u tragovima pomoću AAS.

3. REZULTATI I INTERPRETACIJA

Rezultati analiza glavnih elemenata i elemenata u tragovima su tabelirani i korišteni u interpretaciji okoliša taloženja i podrijetla sedimenata.

3.1 Rezultati elementne analize

Bitni oksidi analizirani u ovoj studiji uključuju SiO_2 , MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 , TiO_2 , CaO , NO_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 i Al_2O_3 i čine oko 80% koncentracije u uzorcima. Mastrihtski uzorci bogati su sa SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3 i te glavne komponente čine između 91,28% i 99,58% uzorka. U tablici 2. prikazani su rezultati elementnih analiza glavnih i elemenata u tragovima za Taloka i Dukamaje formacije. Formacija Taloka ima veće vrijednosti SiO_2 nego formacija Dukamaje, što je odraz razlika litoloških komponenti, zbog razlika u okolišu

taloženja. S izuzetkom Taloka lignita formacija Dukamaje, koja sadrži seriju slojeva muljevitošeg šejla, ima malo veće vrijednosti Al_2O_3 od formacije Taloka. Slika 2. prikazuje sastavljeni karotažni dijagram Dukamaje i Taloka formacija. Siltit na vrhu i muljnjak u bazi formacije Taloka imaju najveću vrijednost koncentracije SiO_2 (99,38% odnosno 95,89%).

Postoji odgovarajući pad vrijednosti Al_2O_3 na ove dvije razine što formaciji daje visoki omjer $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ osim kod uzoraka lignita (Slika 2.). Općenito, odnos $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ je visok u svim uzorcima iz formacije Taloka ali je nizak u uzorcima iz Dukamaje formacije. Ta formacija sadrži više CaO nego formacija Taloka, jer je prethodna sastavljena od vapnenačkih organskih tvari vjerojatno iz marinskog okoliša. Općenito je koncentracija Fe_2O_3 u formaciji Taloka visoka (prosječno 5,79%), što može potjecati iz matične stijene, što pak ukazuje da matična stijena sadrži značajan udio biotita i hornblenda. To ujedno može biti pokazatelj oksidacijskog stanja. Taloka lignit i siltit (TL4D) pokazuju veću koncentraciju SO_3^{2-} (2.57% i 2.04%) što može biti posljedica načina formiranja ovih slojeva taloženih kod anoksičnih uvjeta. U Ref.²¹ je objašnjeno da je pomanjkanje kisika vjerojatno rezultat stagnacije podinske vode zbog stratifikacije gustoće, uzrokovane visokim unosom terigene organske tvari i slabe cirkulacije.

U tablici 3 prikazani su rezultati geokemijskih analiza dobivenih na uzorcima sedimenata paleocena. SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 i Al_2O_3 čine između 75% i 90% koncentracije uzoraka. Vrijednosti SiO_2 kreću se u rasponu od 57,79 wt% do 59,98 wt% za uzorke šejla u formaciji Gambia, dok je ta vrijednost za uzorke iz formacije Dange, od 44,64 wt% do 62,28 wt%. Vrijednost SiO_2 je niska, u rasponu od 0,3 wt% do 0,5 wt% za vapnenac iz formacije Kakambaina, dok uzorci gipsa iz formacije Dange dosižu vrijednosti od 11,69 wt% do 25,07 wt%. Ovi rezultati su pokazatelj niskog unosa siliciklastika za uzorke vapnenca i gipsa. Al_2O_3 varira od 10,01 wt% do 11,81 wt% za Gamba šejl, 16,10 wt% do 21,81 wt% za Dange šejl, 0,01 wt% do 0,02 wt% za vapnenac iz formacije Kalambaina, dok raspon za uzorke gipsa iz formacije Dange varira od 5,41 wt% do 18,35 wt%. Uzorci gline iz formacije Kalambaina za Al_2O_3 imaju vrijednosti u rasponu od 7,63 wt% do 30,30 wt%. Glinica je dobar indeks zrelosti. Parker²⁰ smatra da su sedimenti gline isprani produkt trošenja i pretpostavlja da će glinica, kao najmanje mobilni oksid, biti najzreliji istrošeni rezidualni sediment. Visoki sadržaj glinice u sedimentima iz formacije Dange, pokazuje da su oni najzreliji od analiziranih uzoraka stijena. Vrijednosti Fe_2O_3 kreću se od 6,60 wt% do 7,45 wt% za Gamba šejl, 5,12 wt% do 6,82 wt% za Dange šejl i 4,69 wt% do 6,28 wt% za uzorke gipsa u formaciji Dange, dok je njihova vrijednost niska, od 0,37 wt% do 0,38 wt%, za Kalambaina vapnenac.

Sadržaj elemenata u tragovima određen je za procjenu mogućih odnosa duž stratigrafskog profila. U formaciji Taloka mogu se odrediti tri grupe asocijacije elemenata u tragovima. Prva grupa sastoji se od Zn, Cd, Cr i As (Tablica 2.) pri čemu je najveća koncentracija iskazana u Taloka lignitu (TL4C). To može biti zbog stanja niske

Tablica 2. Glavni elementi i elementi u tragovima, rezultat analize mastrihtskih Rima sedimentata u Sokoto bazenu

	Uzorak br.	TL3A	TL3B	TL3C	TL4A	TL4B	TL4C	TL4D	TL4E	TL4F	TL5A	TL5B	TL5C	TL5D	TL5E	DL6A	DL6B	DL6C	DL6D	DL6E
	Starost	MASTRIHT																		
	Formacija	TALOKA	DUKUMAJE																	
ELEMENTARNI OKSID (WT%)	SiO ₂	84,01	70,46	75,54	99,38	91,53	66,62	76,57	79,29	95,89	85,71	89,62	92,65	88,45	80,43	70,11	63,61	68,44	6,55	69,02
	Al ₂ O ₃	5,07	5,12	12,66	4,60	6,92	19,15	10,54	5,25	5,39	7,27	6,60	6,02	5,55	10,07	11,96	13,92	11,86	2,21	14,18
	Fe ₂ O ₃	6,13	19,63	4,30	5,30	3,54	5,51	4,18	11,32	3,46	3,95	3,36	3,19	3,14	3,83	7,22	6,11	9,83	0,94	7,92
	MgO	0,02	0,58	0,22	0,22	0,07	0,36	0,33	0,09	0,07	0,24	0,07	0,06	0,01	0,20	1,20	1,81	1,34	0,42	1,95
	CaO	0,12	0,03	0,13	0,24	0,04	0,72	0,11	0,30	0,21	0,30	0,14	0,04	0,07	0,42	2,70	5,51	4,27	26,70	2,33
	Na ₂ O	0,08	0,00	0,20	0,01	0,00	0,02	0,01	0,13	0,00	0,05	0,01	0,01	0,03	0,03	0,12	0,19	0,17	0,02	0,12
	K ₂ O	0,07	0,12	0,11	0,07	0,07	0,13	0,16	0,09	0,10	0,17	0,08	0,09	0,07	0,15	0,45	0,89	0,66	0,09	1,00
	SO ₃	0,14	0,11	0,05	0,13	0,06	2,59	2,04	0,49	0,53	1,02	0,11	0,08	0,16	0,15	0,12	0,33	0,40	36,11	1,31
	LOI	5,38	8,18	7,11	1,31	2,72	24,50	10,74	7,86	20,92	6,00	2,53	2,39	4,89	5,06	12,70	14,68	16,52	21,79	18,65
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	16,57	13,76	5,97	21,60	13,32	3,18	7,26	15,10	17,79	11,79	13,58	15,39	15,94	7,99	5,86	4,57	5,77	2,96	4,87
ANALIZA ELEMENTATA U TRAGOVIMA (ppm)	Na ₂ O/K ₂ O	1,14	0,03	1,82	0,14	0,06	0,15	0,06	1,44	0,04	0,29	0,13	0,11	0,43	0,20	0,27	0,21	0,26	0,22	0,12
	Cr	3,90	2,90	3,30	2,80	3,10	4,40	3,40	3,10	4,30	3,20	4,30	3,90	4,60	2,60	4,90	4,10	4,80	2,90	4,20
	Ni	2,60	1,80	2,40	2,10	2,30	2,30	2,10	2,10	2,00	2,40	2,20	2,60	1,30	2,10	2,60	2,10	2,00	2,00	2,90
	Ba	5,40	4,90	4,40	4,60	5,20	4,50	4,90	5,80	4,80	5,20	5,00	6,10	5,20	5,10	5,10	4,90	5,10	6,30	2,20
	Zn	9,70	10,00	10,00	5,60	12,00	13,00	9,40	7,60	8,70	15,00	8,80	8,40	8,60	11,00	8,00	7,30	9,30	8,40	5,80
	Cd	8,00	8,30	7,80	6,70	5,90	8,40	7,60	7,10	6,60	7,20	9,10	7,10	8,70	7,50	8,60	9,00	7,20	8,10	5,20
	Pb	6,70	9,50	6,30	8,70	9,00	7,10	6,10	3,60	8,40	8,60	7,70	5,00	6,90	4,70	7,80	8,10	9,40	7,50	7,40
	Cu	5,70	5,20	3,50	3,00	6,10	4,00	3,00	3,10	5,30	4,50	8,60	5,40	3,40	4,00	4,50	5,00	4,30	6,70	4,20
	As	1,30	1,60	1,70	0,90	1,30	1,90	1,60	1,80	1,10	1,40	1,20	1,20	1,80	1,30	1,00	1,40	1,40	1,50	1,00
	Hg	3,00	3,20	3,20	3,20	3,40	2,80	2,80	3,40	3,00	3,20	4,00	3,00	4,00	3,50	3,60	3,20	2,70	2,00	3,20

Tablica 3. Glavni elementi, rezultati analize palocenskih Sokoto sedimenata u Sokoto bazenu

	Formacija	Dange	Kalambina	Gamba						
	Starost	Donji paleocen	Srednji paleocen	Gornji Paleocen						
	Litologija	Glinjak	Šejl	Gips	Šejl	Vapnenac	Šejl	Vapnenac	Lapor	Glina
ELEMENTARNI OKSID (WT%)	SiO ₂	37,56	61,47	25,07	59,98	0,30	57,79	0,50	17,51	60,16
	Al ₂ O ₃	7,63	16,00	18,35	11,81	0,01	10,01	0,02	4,92	19,63
	FeO ₃	2,48	7,31	6,28	6,60	0,38	7,45	0,37	1,55	5,19
	FeO	0,0014	0,0817	0,001	0,0017	0,0033	0,002	0,004	0,003	0,0013
	CaO	39,64	1,67	21,80	1,19	54,56	2,12	55,04	41,03	0,94
	MgO	1,80	1,96	1,52	6,81	0,34	7,63	0,37	2,22	1,15
	K ₂ O	0,17	1,13	0,66	0,43	0,05	0,43	0,05	0,22	1,12
	Na ₂ O	0,73	0,10	0,01	0,44	0,01	0,11	0,01	0,04	0,09
	SO ₃	0,10	0,05	7,18	0,08	0,04	0,08	0,05	0,04	0,08
	TiO ₂	0,004	0,0008	0,001	0,0005	0,003	0,001	0,00004	0,00004	0,00009
	NO ₃	0,005	0,003	0,004	0,006	0,005	0,0014	0,005	0,004	0,004
	LOI	10,17	8,68	18,45	12,95	44,30	14,30	43,61	31,46	11,08
	Total	100,02	99,55	99,33	99,99	100,0	100,00	100,03	99,46	99,99
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	4,92	3,84	1,37	5,07	30	5,8	2,5	3,6	3,1

energije za vrijeme taloženja sedimenata, gdje su procesi kemijske transformacije bili uvelike usporeni. Izluživanja i trošenja mogu biti faktori koji su smanjili koncentraciju te grupe. Druga se grupa sastoji od Ba, Cu i Hg (Tablica 2.). Ovdje se je pokazao pad koncentracije u Taloka lignitu (TL4C). Trend iskazan od obje grupe elemenata u tragovima duž profila (Slika 2.) vjerojatno pokazuju razliku u stanju energije za vrijeme taloženja, kao i okoliša taloženja duž stratigrafskog profila. Ni spada u treću skupinu, koja ne pokazuje nikakve sustavne varijacije obzirom na litologiju ili dubinu a koncentracija je između 1,30 i 2,60 ppm.

Formacija Dukamaje pokazuje pad koncentracije Ba, Cu, Cd, Zn i Pb s dubinom. Uzorak br. DL6E pokazuje najmanju koncentraciju navedenih elemenata u tragovima što može biti posljedica izluživanja i dijageneze. Koncentracija Ba je između 2,20 ppm i 6,30 ppm, dok su koncentracije Zn i Pb između 5,80 ppm i 9,30 ppm, odnosno 7,40 ppm i 9,40 ppm. Koncentracija Cd u analiziranim uzorcima Dukamaje je između 5,20 i 9,00 ppm i smanjuje se sa starošću (Tablica 2.), čime se potvrđuje hipoteza¹⁹ kojom se utvrđuje da je koncentracija Cd veća u mlađim sedimentima od koncentracije u starijim sedimentima. Gipsonosan šejl (DL6D) pokazuje porast koncentracije Cu, Ba i Zn i pad koncentracije Cr, Hg i Pb što može biti zbog načina taloženja sedimenata.

3.3. Sedimentacijska sredina

Rezultat analize glavnih elemenata pokazuje da se Taloka formacija sastoji pretežno od SiO₂, Al₂O₃ i Fe₂O₃, što je pokazatelj visokog sadržaja silta. Omjer SiO₂/Al₂O₃ isto tako potvrđuje prethodnu činjenicu. To znači da su sedimenti gotovo u cijelosti sitnozrnati, obično mulj, a sastoji se od silta što je karakteristični obrazac

raspodjele sedimenata plimne ravnice. U blizini visoke linije vode i razvođa sedimenti su muljeviti i glinoviti. U isto vrijeme su sedimenti blizu niske linije vode pjeskoviti. Razlozi za ovu karakterističan obrazac sedimentacije plimne ravnice su energija i djelomično mehanizam transporta. Blizu niske linije vode, aktivnost valova je najjača. Ona traje dulje u usporedbi s višim dijelovima priobalja pa je tamo povećana količina pijeska. Slojevi lignita pojavljuju se kod sela Taloka, tipski presjek Taloka formacije. Lignit postiže najviše koncentracije SO₃ što je pokazatelj povećane prisutnosti organske tvari. Pojava lignita je od posebnog značaja obzirom na okoliš, jer potvrđuje paralitičku prirodu taložnih okoliša tijekom mastrihta u bazenu Sokoto.

Uzorci na Dukamaje formaciji sastoje se od laminiranih i nelaminiranih šejlova s tankim proslojcima gipsa i predstavljaju dublje marinske sedimente istog mora. Glavna elementna interpretacija pokazuje da ti šejlovi imaju nisku koncentraciju SiO₂ i visoku koncentraciju Al₂O₃, stoga i niski omjer SiO₂/Al₂O₃. To je pokazatelj niskog sadržaja silta iz čega se može izvesti zaključak da se vjerojatno radi o marinskom okolišu. Koncentracija CaO je također visoka što nagoviješta vapneni šejl iz marinskog okoliša.

Glavna elementna analiza gipsa pokazuje priobalno-lagunske facijese prijelaznog okoliša taloženja. Kao rezultat toga, isparavanje je uzrokovalo taloženje gipsa, vjerojatno u laguni odsječenom od mora, što je primjer sabkha facijesa. Jedinice gline i šejla s tankim proslojkom kristala muljevitog gipsa vjerojatno su istaložene u muljem bogatom Sabkha facijesu. Sedimenti muljem bogatog sabkha facijesa istaloženi su u pojasu paralelnom s unutrašnjim šelfom i bolje su razvijeni na zapadnoj strani bazena Sokoto zbog infiltracije i isparavanja vode u laguni a u nju je prenesen samo mulj.

Međutim, prisutnost tamnih fosfatnih konkreција, što je vjerojatno dokaz supstitucije gipsa autigenim fosfatom, ukazuje na plitko morski okoliš s izlazom na otvoreno more na jednoj strani, gdje je došlo do uzlaznog strujanje fosfata kao nodula, laminarnog strujanja ili supstitucija raznih oblika gipsa. Na mjestima gdje je takvo uzlazno strujanje često, osobito duž zapadne obale kontinenta, nastaje hladno more bogato fosfatima što dovodi do pretjeranog cvjetanja filoplanktona što truje vodu i uzrokuje masovno uginuće riba. Do toga dolazi nakon uginuća organizama pa na dno oceana putem organskog detritusa dospije više fosfata. To je potvrđeno prisutnošću fosifilifernih slojeva s kostima fosila uključujući lubanje krokodila, raznim vrstama riba kao što je morski pas i pilan u Sokoto bazenu.^{9,16,25,27}

Drugim riječima, obje mastriht formacije su taložene u prijelaznom okolišu kada je more prodrlo do bazena Sokoto tijekom gornjeg mastrihta. Taloka formacija predstavlja pijesak i mulj obalne ravnice prodirućeg mastrihtskog mora dok Dukamaje formacija predstavlja dublji marinski facijes istog mora.

Za paleocenske sedimente iznimno visoki sadržaj SiO_2 i niski sadržaj Na_2O i K_2O u uzorcima šejla i gipsa je pokazatelj taloženja u plitkom morskom okolišu, gdje su K_2O i Na_2O u otopini kasnije istaloženi dalje od obale.¹ Omjer $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ je nizak, kreće se između 3,1 wt% i 5,8 wt%, za Gamba i Kalambaina formacije i između 1,37 wt% i 3,87 wt%, za Dange formaciju. Niska vrijednost pokazuje niži sadržaj silta, sugerirajući time sklonost marinskim uvjetima.⁵ Glina i šejl u Dange formaciji imaju vrijednosti CaO veće od 7,0 wt% što ukazuje na vapneni šejl.³ Visoki sadržaj glinice u sedimentima Dange formacije pokazuje da su oni najzreliji od svih analiziranih uzoraka stijena. Glinica je dobar pokazatelj zrelosti. Pettijohn²² smatra da su glineni sedimenti isprani produkt sloja raspadnutog uslijed atmosferskih djelovanja i pretpostavlja da će glinica, kao najmanje mobilni oksid, biti sadržana u najzrelijem raspadnutom ostatku. Visoke vrijednosti Al_2O_3 (u prosjeku > 5.0 wt%) u Dange i Gamba formacijama su pokazatelj redukcijskog okoliša, dok niski sadržaj Fe_2O_3 u Kalambaina formaciji ukazuje na oksidacijski okoliš taloženja. Proces formiranja željeza u ovim sedimentima vjerojatno

svodi Fe^{3+} na $\text{Fe}^{2+} + e^-$. Ovaj se proces odvija u redukcijskom okolišu.

Skeletni fragmenti, uglavnom gastropodi i ostrakodi pokazuju da je sediment bio istaložen u plitkovodnom okolišu, vjerojatno kao potplimni facijes. Prisutnost ooida pokazuje da su te čestice pokrenute i transportirane jakim strujom, što ukazuje na veliku kinetičku u taložnom okolišu. Iako su uzorci istaloženi u potplimnom do interditalno-lagunskom okolišu, visoka stopa taloženja bi trebala pridonijeti očuvanju organske materije. Međutim, proces prerade sedimenta zbog jakog transporta u blizini trošnog površinskog sloja i dijagenetskih promjena zbog niske temperature možda su rezultirali opadanjem sadržaja organske tvari u sedimentima.

3.4. Određivanje podrijetla uzoraka stijena iz elementnih analiza

Korištenjem glavnih oksida kao varijabli,²⁶ utvrđen je glavni element diskriminacijske funkcije za raspoznavanje sedimenta čije je podrijetlo prvenstveno mafitno, neutralnih ili kiselih magmatskih i kvarcnih sedimenta. Njihova analiza temelji se na 284 kemijskih analiza u kojoj su se $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ i $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ pokazali kao najvredniji diskriminant. Graf prve dvije diskriminacijske funkcije temelji se na oksidima Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na i K i najočitije prikazuje razliku među četiri vrste podrijetla sedimentnog materijala. Diskriminacijske funkcije interpretirane su pomoću standardiziranih koeficijenata i struktura matriksa. To pomaže u predočavanju načina na koji dvije funkcije prave razliku između grupa pomoću iscertavanja pojedinačnih rezultata za dvije diskriminacijske funkcije.

Koristeći dijagram diskriminacijske funkcije prikazan na slici 3, graf tipičnih uzoraka Taloka formacije (T3, T4, T5) iz kvarcnog područja napajanja sedimentnim materijalom, upućuje na reciklirano podrijetlo. Uzorak Dukamaje formacije (D6) spada u mafitno eruptivno podrijetlo sedimentnog materijala.

Tablica 4. pokazuje da sedimenti Dange formacije (uzorci 3 i 4) imaju mafitno eruptivno podrijetlo sedimentnog materijala. Međutim, uzorak šejla (uzorak br. L1A i L2A) iz Gamba formacije potječe iz kvarcnog

Table 4. Sedimenti Dange formacije

Uzorak br.	Litologija	DF1	DF2	Podrijetlo
L1A	Šejl	- 7,88	-15,62	Kvarcno sedimentacijsko
1C	Lapor	16,77	16,89	Intermedijarno efuzivno
1D	Glina	4,18	- 5,84	Mafitno efuzivno
L2A	Šejl	- 6,87	- 14,14	Kvarcno sedimentacijsko
L3A	Glinjak	19,27	9,68	Intermedijarno efuzivno
3D	Šejl	3,80	- 7,08	Mafitno efuzivno
3E	Gips	12,39	1,68	Mafitno efuzivno
L4C	Glina	14,92	- 1,58	Mafitno efuzivno
4D	Mulj	10,40	- 2,60	Mafitno efuzivno
4E	Šejl	10,28	- 3,90	Mafitno efuzivno
4F	Gips	10,48	2,75	Mafitno efuzivno

područja napajanja sedimentnim materijalom. Mafitne stijene su eruptivne stijene s oskudnim sadržajem silicij dioksida (oko 50% SiO_2) s relativno visokim sadržajem magnezija, željeza i kalcija. Niski sadržaj silicij dioksida u unesenom siliciklastiku označuje niski nivo razrjeđivanja klastika organske materije u sedimentima Dange i Kalambaina formacija.

S druge strane, kvarcno područje napajanja sedimentnim materijalom Gamba šejlova pokazuje visoki unos silicij dioksida iz njihovog izvora. Međutim, visoki sadržaja Fe_2O_3 za sve uzorke ukazuje na smanjenje sedimentacijskog okoliša. Sve to su povoljni uvjeti za taloženje i akumulaciju organske materije.

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Naslage sedimenata bazena Sokoto u sjeverozapadnoj Nigeriji leže na pretkambrijskim podinskim stijenama, kao što su gnajsi, graniti, filiti i kvarciti. Te podinske stijene se pojavljuju na površini u istočnim i jugoistočnim sektorima bazena Sokoto. Sedimentne jedinice bazena se sastoje se od gline, grubozrnastih pješčenjaka, muljnjaka, silta, siltnog pijeska, glinovitog šejla, lignita, vapnenca, gipsa i naplavina, koji spadaju u različite stratigrafske sukcesije. One su podijeljene u gornjokredne, paleogene i kvartarne sustave/serije. Neke od stijena su bogate fosilima i sadrže fosile i kralježnjaka i beskralježnjaka.

Glavni rezultat elementarne analize mastrihtskih sedimenata, koji čine grupu Rima bazena Sokoto, otkriva da Taloka formacija (donji mastriht) sadrži pretežito siltite koji su kemijski zreli s prevlašću K-feldšpata i K-tinca nad albitnim plagioklasom. Taloženje se je odvijalo pod oksidacijskim uvjetima na što ukazuje visoka koncentracija Fe_2O_3 i postojanje sloja koji sadrži šljunak s glinjicama. Dukamaje formacija (srednji mastriht) se sastoji od vapnenog šejla taloženog u marinskom okolišu s percipitima gipsa. Rezultat za elemente u tragovima pokazuje stratigrafske varijacije u načinu pojavljivanja s tri grupe prepoznate za Taloka formaciju i dvije grupe za Dukamaje formaciju. Ove promjene su moguće povezane sa sedimentacijskim okolišem, starošću i litološkim sastavom sedimenata.

Rezultat analize glavnih oksida paleocenskih sedimenata napravljenih na Dange, Kalambaina i Gamba formacijama (donji, srednji i gornji paleocen) ukazuje na smanjeni, plitki marinski okoliš taloženja sedimenata. Ove formacije čine grupu Sokoto u bazenu Sokoto. Tip stijene karakterizira šejl, vapnenac i gips.

Iz navedenog slijedi da elementne analize od mastrihtskih do paleogenih sedimenata bazena Sokoto pokazuju smanjenje, intertidalno-lagunskog marinskog okoliša taloženja. Diskriminacijska funkcija pokazuje da su sedimenti uglavnom mafitno efuzivnog i kvarcnog podrijetla.



Autori:

Dr. **Clement Bassey**, Department of Geosciences, Akwa Ibom State University, Mkpato Enin

correspondence e-mail: obohoeminue@gmail.com

MSc. **Obobo Eminue**, Department of Geosciences, Akwa Ibom State University, Mkpato Enin

UDK : 550.8 : 552 : 550.4 : 543.84 : 543.422/.423 (669)

550.8	geološka istraživanja
552	petrografija
550.4	geokemija, analize
543.84	elementarna analiza
543.422/.423 (669)	metode spektralne analize
	Nigerija, SOKOTO bazen